



Revista MINERVA

Plataforma digital de la revista: <https://minerva.sic.ues.edu.sv>



Análisis de la recarga potencial del acuífero superficial en Isla de Méndez, Jiquilisco, Usulután

Analysis of the potential recharge of the surficial aquifer in Isla de Méndez, Jiquilisco, Usulután

César Armando Alvarado-Batres¹

Correspondencia:
cesar.alvarado2@ues.edu.sv

Presentado: 2 de julio de 2020
Aceptado: 14 de septiembre de 2020

¹ Profesor de Hidrogeología, Universidad de El Salvador

RESUMEN

Este trabajo presenta el cálculo de la recarga potencial del acuífero superficial ubicado en Isla de Méndez, Jiquilisco, Usulután; se utilizó la metodología del Balance de Suelos de Gunter Schosinsky (2000) y se consideraron las variables del ciclo hidrogeológico y características hidráulicas de la zona. Esta investigación se realizó con el objetivo de desarrollar un estudio hidrogeológico que permita conocer la recarga del acuífero, dinámica del agua subterránea, las características y parámetros físico-químicos. La recarga potencial del acuífero en el área de estudio se determinó con la ayuda de pruebas de infiltración a carga constante y variable (26.4 km²), y se obtuvo un valor general de 503.78 mm/año, y el caudal que infiltra según el valor de la Rp es de 420 litros/s. Por último, mediante el análisis físico-químico del agua subterránea se establece que la calidad del agua muestreada no cumple las Normas Salvadoreñas Obligatoria de Agua Potable, por lo que es necesario la aplicación de métodos de potabilización del agua e investigar la razón de los valores anómalos, ya que puede ser influenciado por peculiaridades naturales o antropogénicas.

Palabras claves: Recarga potencial, acuífero, metodología de Schosinsky, infiltración, parámetros físico-químicos.

ABSTRACT

This work presents a calculation of the potential recharge of the surficial aquifer located in Isla de Méndez, Jiquilisco, Usulután; using the Soil Balance methodology of Gunter Schosinsky (2000), considering the variables of the hydrogeological cycle and hydraulic characteristics of the area. The research was conducted with the objective of carrying out a hydrogeological study that could allow to know the recharge of the aquifer, groundwater dynamics, and the characteristics and physical-chemical parameters. The potential recharge of the aquifer in the study area was determined with the help of infiltration tests at constant and variable head (26.4 km²), resulting in a general value of 503.78 mm / year, at an infiltration flow (Rp) of 420 liters / s. Through the

physical-chemical analysis of the groundwater, it was established that the quality of the sampled water did not comply with Salvadoran standards of mandatory regulations for Drinking Water. Therefore, it becomes necessary to apply water purification methods for its use. The reason for the observed anomalous water values also needs to be investigated, since the quality of the water can be influenced by natural or anthropogenic factors.

Key words: Potential recharge, aquifer, Schosinsky methodology, infiltration, physical-chemical parameters.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realizó en el cantón Isla de Méndez, municipio de Jiquilisco, departamento de Usulután, El Salvador. Durante el mes de octubre del año 2013. Este es paralelo a una investigación más amplia que busca caracterizar el acuífero costero que subyace a la zona de la península de San Juan del Gozo; el objetivo general es realizar un estudio hidrogeológico que permita conocer la recarga potencial, la dinámica del agua subterránea, las características y parámetros físico-químicos del recurso hídrico en Isla de Méndez. Para ello se utilizó información bibliográfica y registros de la estación climatológica (Puerto Parada) más cercana del área de investigación. También, se hicieron pruebas *in situ*, tales como: pruebas de infiltración, inventario de pozos excavados, análisis de variables físico-químicos en el campo y observación. Con los resultados obtenidos se espera profundizar en el conocimiento del comportamiento de la recarga potencial y la dinámica del agua subterránea en esta zona costera; así como propiciar insumos que faciliten en un futuro el diseño de un balance hídrico, nuevas investigaciones y la administración de los recursos hídricos en la zona estudiada. Al mismo tiempo se pretende responder a las inquietudes de la población que habita en el lugar, respecto a la calidad del agua según sus parámetros físico-químicos y comparar los resultados con la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable (1998 y 2006).

De acuerdo con PRISMA (2001), en la zona de

la Isla de Méndez no existe presencia, de una intrusión salina que provoque un cambio en la calidad del agua. Además, se diferencian dos estratos, constituidos por materiales aluviales, gravas, arenas, cantos rodados e intercalaciones de material arcilloso. Los contrastes de resistividad bajos, principalmente en la zona de la playa, están asociados a la contaminación desde la superficie por la entrada de la marea y a la acumulación de químicos. Por tanto, cambios en la salinidad del agua de la zona se deben exclusivamente a una recarga lateral del agua de mar que entra por el drenaje secundario, en consecuencia, de los cambios de marea (PRISMA 2001). De acuerdo con Mendieta (2012), en Isla de Méndez se observa una sección conductiva que se puede atribuir a la interfaz agua dulce-agua salada. También, existe un aumento de flujo magnético en dirección a la costa, debido a un aumento en la susceptibilidad magnética del subsuelo. Lo cual puede deberse a cambios en la salinidad del subsuelo y a la acumulación de depósitos sedimentarios y aluviales, que crea una mezcla de diferentes compuestos minerales que elevan el valor del flujo magnético.

ÁREA DE ESTUDIO

El área objeto del estudio se ubica entre las coordenadas Lambert 535000-537000 Este y 233000-237000 Norte (Figura 1). En general el área de estudio se encuentra en la zona de la península de San Juan del Gozo, específicamente en el cantón Isla de Méndez y alrededores, la cual ha sido históricamente una zona rural muy influenciada por la dinámica del

Océano Pacífico al sur y la bahía de Jiquilisco al norte. Actualmente la zona muestra una tendencia al desarrollo eco-turístico.

El área de interés se encuentra dentro de la

región hidrográfica denominada “entre Río Lempa y Grande de San Miguel”; con base en los datos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

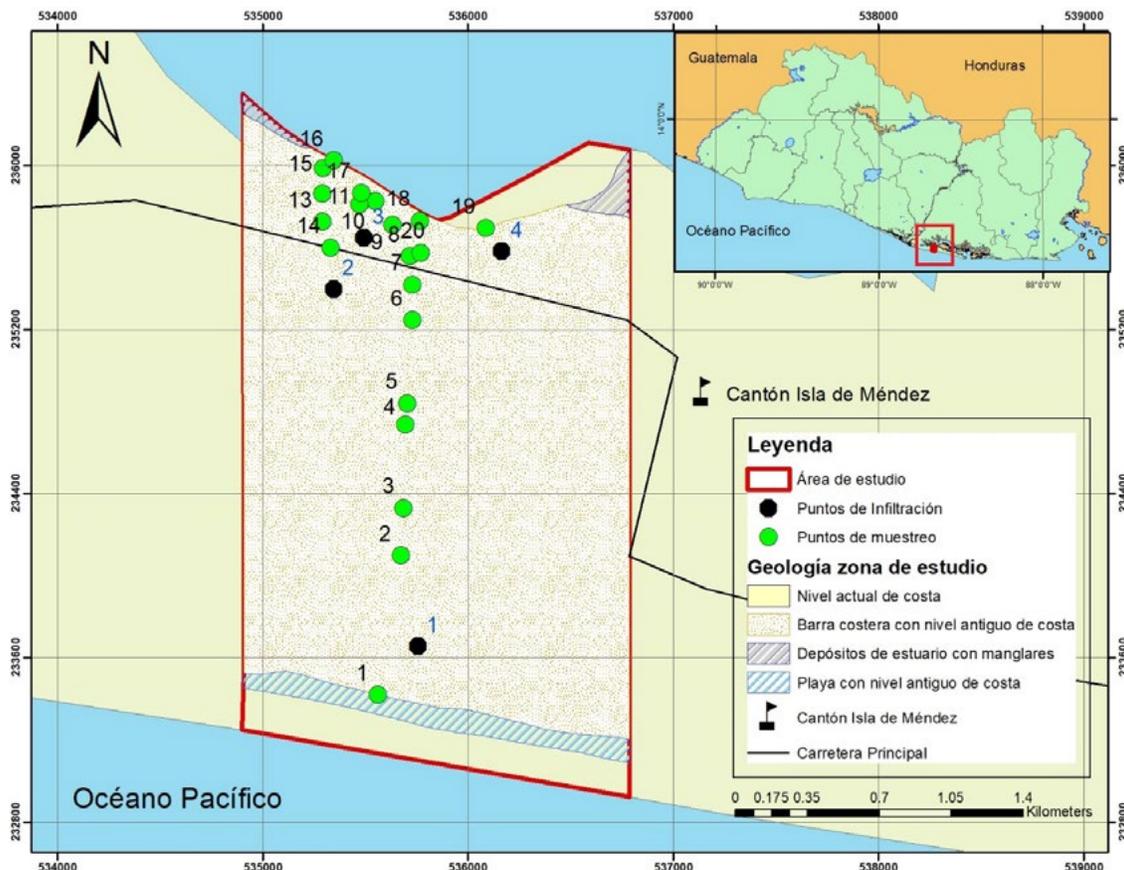


Figura 1. Ubicación del área de estudio. **Fuente:** elaboración propia.

GEOLOGÍA

La zona de estudio presenta materiales de tipo sedimentario pertenecientes a la formación San Salvador, miembro Qf (Baxter 1984), es decir, depósitos sedimentarios del terciario-cuaternario (PRISMA 2001). En el Mapa Geológico de El Salvador (MARN-MOP-IBERINSA-EPYPSA 2002) se distinguen tres tipos de litologías para el área en cuestión (Fig.1): Barra costera con nivel antiguo de costa (predominante), depósito de estuario con manglares que se encuentran en la parte norte

del área de estudio y playa con nivel antiguo de costa, que aparece a lo largo de la actual línea costera.

Las unidades hidrogeológicas se establecieron a partir del análisis de la hoja San Salvador del mapa hidrogeológico de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados de El Salvador (ANDA-COSUDE 2008); este sitúa la zona de estudio dentro de la unidad Acuífero poroso de gran extensión y productividad media.

Los materiales de esta unidad consisten principalmente en piroclastos aglomerados

retrabajados (pómez, lapilli, tobas), y tienen una distribución granulométrica que varía de fina a gruesa (Ibíd.).

El estrato acuífero está constituido por partículas sólidas de tamaño grueso (cantos de gravas y arenas), arena fina o arcilla y en ciertos casos material cementante (PRISMA 2001). Los primeros sedimentos han formado un simple agregado suelto, muy poroso, que permite el almacenamiento y transporte de agua en su interior. Los nuevos aportes de materiales generan la superposición de unos encima de otros, es decir, intercalaciones de distinta granulometría, que en la mayoría de los casos pueden estar cargadas de sustancias que, al precipitar, cementan o compactan al resto del material sólido (arenas, gravas). Estas sustancias, por lo general, son bicarbonatos cálcicos, sílices e incluso arcillas (Ibíd.). La conductividad hidráulica puede variar de mediana a baja, como consecuencia del grado de cementación o compactación que pueden tener los granos de los materiales que la constituyen. Esta unidad puede tener más de 50 m de espesor (ANDA 2012 citado en Mendieta 2012).

Según el mapa de uso de suelos de El Salvador (1996), la zona de estudio muestra un claro dominio de las actividades agrícolas de subsistencia (pastos y granos básicos) con algunos relictos de bosque natural (Bosque salado) confinados a la zona más septentrional del área de estudio (zona de la Bahía de Jiquilisco), los cuales se confirmaron mediante la observación de campo.

METODOLOGÍA

Para la realización de la investigación se desarrollaron actividades tanto de gabinete como de campo, dentro del primero se incluye la ubicación del área de estudio y revisión de información previa (geología, hidrografía,

uso de suelo, pozos, estudios hidrogeológicos previos, campañas geofísicas realizadas, entre otros). Dentro del segundo se realizaron pruebas de infiltración y un inventario de pozos que incluye los parámetros estructurales y físicos químicos de pozos excavados en la zona y la observación de campo.

La información espacial fue procesada mediante programas de interpolación y Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente en los softwares Golden Surfer v10, Quantum Gis v1.8 y ArcGis v10.0, respectivamente. Las unidades hidrogeológicas se establecieron a partir del análisis de la hoja San Salvador del mapa hidrogeológico escala 1:100000 de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA); y se identificó la zona de estudio dentro de la unidad "Acuífero poroso de gran extensión y productividad media".

Con base a la información bibliográfica y la recabada en campo, se ha identificado el tipo de acuífero, modelado de los niveles de agua subterránea del acuífero superficial, identificación de mecanismos de recarga y descarga del acuífero, caracterización hidráulica de suelos y caracterización físico-química del agua de los pozos.

Se desarrolló un inventario de pozos excavados (Puntos de muestreo de la figura 1), se determinó la ubicación geográfica, y se midió el nivel del agua, así como parámetros físicos y químicos tales como: oxígeno disuelto, pH, conductividad, temperatura y potencial de óxido-reducción (ORP). Con el fin de caracterizar la dinámica del flujo y comparar la calidad del agua con base en sus propiedades físico-químicas.

Por último, se desarrollaron 4 pruebas de infiltración (Figura 1), con los métodos del Permeámetro de Guelph y del Doble anillo. Estos se describen a continuación:

Método del Permeámetro de Guelph

Se trata de un instrumento patentado en el que se establece un valor determinado de carga hidráulica constante y se miden los descensos de la misma en el tiempo; el método se basa en las ecuaciones de la ley de Darcy.

El Permeámetro de carga constante es un método a nivel de matriz de suelo (Coello et al., 2005). Mientras el agua fluye a través del suelo, la columna de agua en los reservorios del permeámetro desciende, manteniendo estable la altura de h . Esta velocidad de descenso es registrada por medio de una escala graduada a 0,1 cm, en intervalos constantes de tiempo, y permite las lecturas correctas aún a muy bajos caudales. Cuando las velocidades de descenso se estabilizan y se obtienen 3 ó 4 valores iguales o con diferencias menores al 5% se termina la medición (Cerana et al, 2005 citado en Gabriels et al., 2014).

Método del Doble anillo

Este es un método de campo utilizado para determinar la velocidad básica de infiltración vertical del suelo y es comparada con la conductividad hidráulica saturada, las presiones son positivas relativas a la presión atmosférica (Timbe et al., 1999 citado en Coello C., 2005).

Para su determinación los dos anillos (exterior e interior) se introducen en el suelo a una profundidad de 10 a 15 cm, hasta lograr que estén perfectamente enterrados y nivelados, se procede a llenarlos con agua hasta el mismo nivel, el método consiste en tomar lecturas del descenso del nivel de agua en el anillo interior, es importante recalcar que el nivel del anillo exterior debe mantenerse igual al interior. Cuando se consigue que la tasa de la infiltración sea constante, la prueba se termina (Ibíd.).

Estos procedimientos se complementan por medio de la metodología de Schosinsky que se puede aplicar por medio de la hoja electrónica en Excel de Gunther Schosinsky "Balance hídrico de suelos" en la que se sustituyen los elementos hidrológicos de la zona para determinar la recarga potencial. Según Schosinsky (2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas de permeabilidad

Por medio de los métodos de infiltración se realizaron cuatro pruebas sobre distintos puntos específicos del área de estudio (Tabla 1), dos se realizaron con el método del permeámetro de Guelph y dos con el método de Doble anillo.

A la fecha, la comunidad de la Isla Méndez cuenta con un pozo perforado que suministra agua potable a toda la población de esta zona.

Parámetros físico-químicos y nivel estático

Con los parámetros físico-químicos se diseñaron mapas de isolíneas para conectividad eléctrica, oxígeno o disuelto, pH y temperatura. Estos desarrollados por medio del software Golden Software Surferv.10.0.

Se observa que la conductividad eléctrica, pH y temperatura muestran una tendencia de disminución hacia el Este de la zona de estudio.

La medición de los parámetros en los pozos, se llevó a cabo con una sonda de nivel Solinst Water Level Meter-Model 101, se tomó en cuenta la altura del brocal de cada pozo y una sonda multi-parámetro YSI modelo 556 MPS (Tabla 2).

Tabla 1. Resultados de pruebas de permeabilidad en la zona de estudio

Prueba	Coordenadas (UTM)	K (m/d)	Método
1	E 318726 N 1464521	7.303	Permeámetro de Guelph
2	E 318726 N 1464521	7.268	Doble anillo
3	E 319208 N 1463708	2.65	Permeámetro de Guelph
4	E 319730 N 1464221	4.219	Doble anillo
Promedio		5.36 m/d	

Tabla 2. Resumen de las mediciones en pozos excavados y parámetros físico-químicos.

Nº	X	Y	Nivel estático (m)	Prof. Final de la obra (m)	Temp. (°C)	pH	Conductividad (mS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)
1	318700	1464545	2.68	3.56	28.17	6.45	0.54	2.48
2	318659	1464394	2.46	3.27	28.2	6.64	1.122	3.71
3	318636	1464064	2.57	3.65	29.49	7.64	6.854	2.61
4	318645	1464434	2.76	3.25	28.4	7.3	0.729	2.64
5	318649	1464302	2.52	3.4	28.65	6.62	0.361	2.49
6	318639	1464289	2.94	4.02	29.21	6.44	0.684	2.31
7	318671	1464189	2.56	3.5	27.94	6.79	0.266	1.37
8	318954	1464208	2.81	3.55	-	-	-	-
9	319208	1463708	2.7	3.96	-	-	-	-
10	319228	1463601	2.39	3.53	-	-	-	-
11	319265	1463958	2.74	3.87	-	-	-	-
12	319293	1464018	2.54	3.67	-	-	-	-
13	318888	1461915	2.87	3.45	29.71	7.49	0.478	2.33
14	319123	1462894	3.06	4.18	28.48	5.48	0.716	1.19
15	319089	1462932	2.52	3.67	28.29	5.87	0.346	1.2
16	319165	1463151	2.5	3.75	28.08	5.4	0.228	4.5
17	319730	1464221	2.45	3.51	27.7	5.56	0.26	3.2
18	319223	1464321	2.39	3.44	28	6.57	0.786	2.19
19	319189	1464236	2.32	3.69	28.01	6.87	0.24	0.42
20	319093	1464113	2.54	3.84	27.92	6.78	0.983	1.09
21	319167	1464160	2.43	3.8	28.58	6.83	0.198	1.59
22	319013	1464024	2.47	4.25	28.18	6.89	0.302	2.07

En promedio la profundidad de nivel estático de los pozos es de 2.6 m, con una dirección de flujo ligeramente dirigida hacia el sur, sobre la línea costera. Varios de estos pozos estaban descuidados a pesar de que algunos de ellos se utilizan como fuente de agua para consumo. En el caso de la conductividad eléctrica varía desde 0.2 - 6.85 miliSiemens/cm. Existe una anomalía en uno de los pozos (No. 3) que tiene un valor excesivamente alto de 6.85

miliSiemens/cm. En general el pH de los pozos es aceptable, con un promedio de 6.6, con un valor mínimo de 5.4 y un valor máximo de 7.6. La temperatura de los pozos oscila entre 27.7 °C y 29.7 °C, con un promedio de 28.4 °C, lo cual es un valor típico del agua en este tipo de ambiente. El parámetro de oxígeno disuelto registrado varía entre 0.42 y 4.5 mg/l, obteniendo el valor más bajo en el pozo No. 19 (0.42 mg/l) ubicado muy cerca del estero.

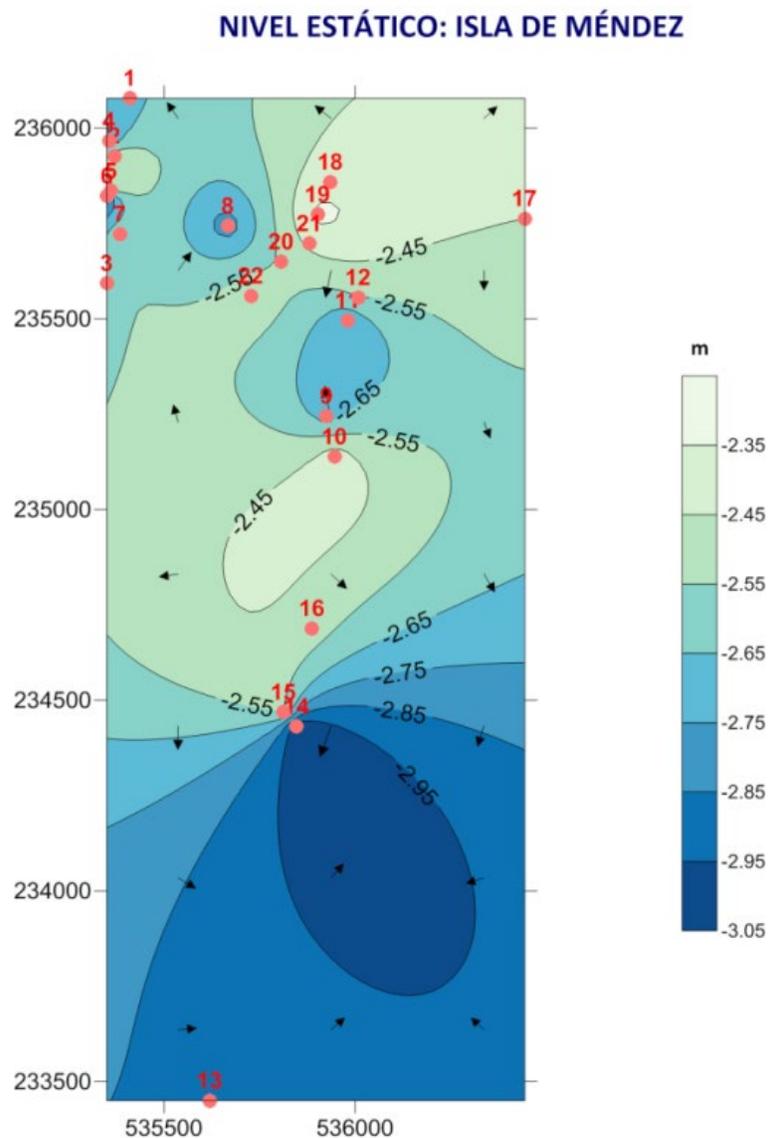


Figura 3. Mapa mostrando la variación del nivel estático en los pozos, mostrando además la dirección de flujo subsuperficial.
Fuente: Elaboración propia.

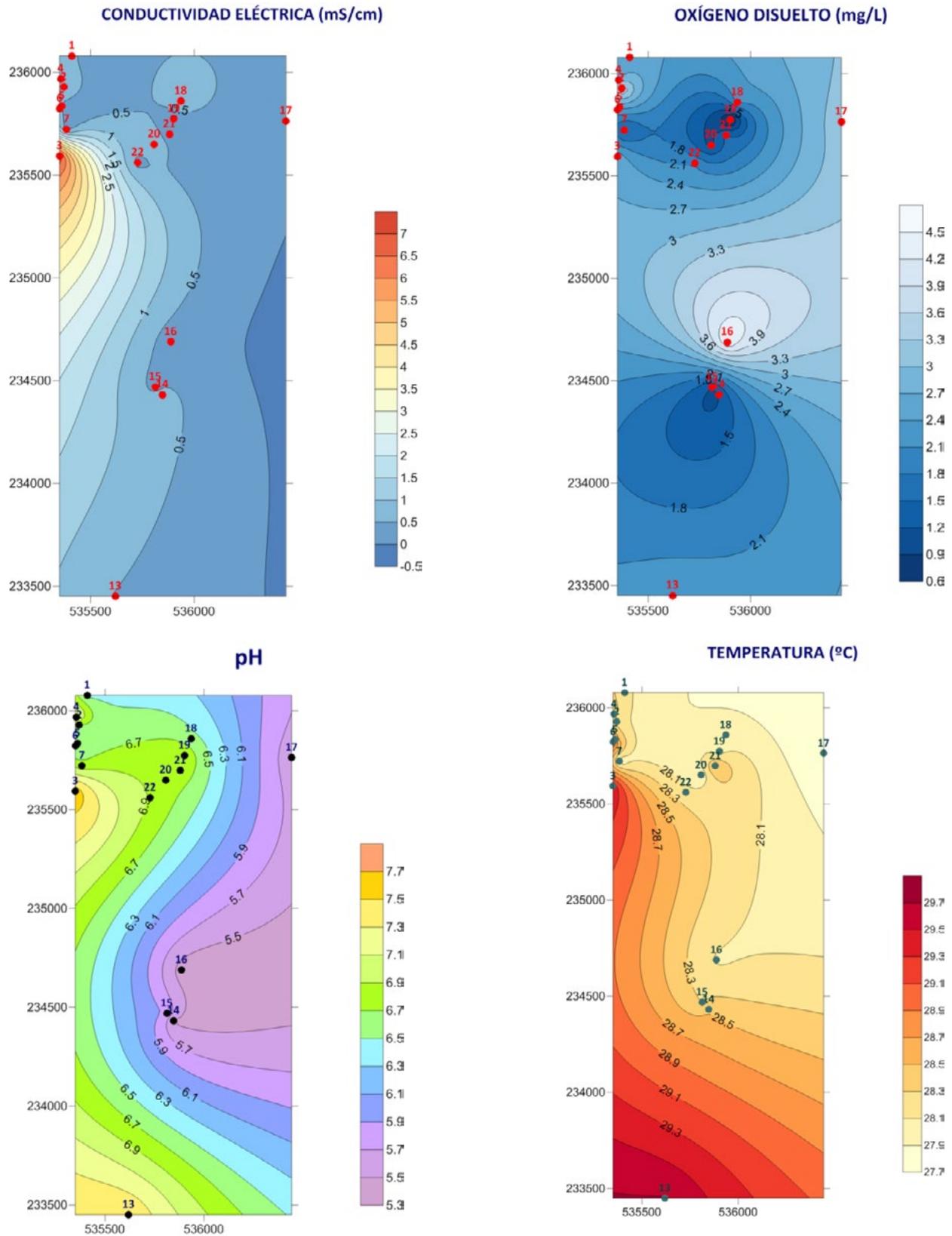


Figura 4. Mapas mostrando la variación de los parámetros físico-químicos para los pozos muestreados a lo largo de la zona de estudio (A) Conductividad hidráulica, (B) Oxígeno disuelto, (C) pH, (D) Temperatura. **Fuente:** Elaboración propia.

Con el fin de describir y organizar los datos procedentes de las medidas de los parámetros

físico-químicos se obtuvo la estadística descriptiva de los mismos (Tabla 3).

Tabla 3. Estadística descriptiva de los parámetros físico-químicos medidos en pozos.

	Temperatura	pH	Conductividad	Oxígeno Disuelto
Media	28.41	6.56	0.88	2.19
Error típico	0.14	0.16	0.38	0.25
Mediana	28.2	6.64	0.478	2.31
Desviación estándar	0.57	0.66	1.56	1.02
Varianza de la muestra	0.32	0.44	2.44	1.04
Curtosis	0.75	-0.37	15.70	0.43
Coficiente de asimetría	1.22	-0.42	3.90	0.47
Rango	2.01	2.24	6.656	4.08
Mínimo	27.7	5.4	0.198	0.42
Máximo	29.71	7.64	6.854	4.5
Suma	483.01	111.62	15.093	37.39
Cuenta	17	17	17	17
Mayor (1)	29.71	7.64	6.854	4.5
Menor(1)	27.7	5.4	0.198	0.42
Nivel de confianza (95.0%)	0.29	0.34	0.80	0.52

Tanto la media aritmética como la mediana miden el centro de la distribución. En los datos se puede observar que la distribución es simétrica ya que ambas medidas son casi iguales (28.41 y 28.2 respectivamente). El rango estadístico es el intervalo entre el valor máximo y el valor mínimo y permite obtener una idea de la dispersión de los datos, cuanto mayor es el rango, más dispersos están los datos de un conjunto (Canavos,1992). Para nuestros datos el mayor rango lo tiene la conductividad este es de 6.65 seguido del oxígeno disuelto de 4.08, mientras que el pH y la temperatura rondan en valores de 2.0.

La desviación estándar por su parte mide la

variabilidad de las observaciones con respecto a la media (Orellana, 2001). La mayor desviación estándar se encuentra en la conductividad (1.56) seguida levemente por el oxígeno disuelto con 1.02 finalmente la temperatura y el pH con valores levemente mayores a 0.5.

Mientras que El Coeficiente de Curtosis mide cuan 'puntiaguda' es una distribución respecto de un estándar. Este estándar es una forma acampanada denominada 'normal', y corresponde a una curva de gran importancia en estadística (Ibíd.). Este valor varía ampliamente entre cada uno de los parámetros medidos. Para la conductividad se tiene un valor de 15.7, mientras que la

temperatura posee un valor de 0.75 y el oxígeno disuelto 0.43. Una curtosis positiva indica una distribución relativamente elevada. Solo el pH presentó un valor negativo de -0.36, que indica una distribución relativamente plana (Ibíd.).

La asimetría se refiere a si la curva que forman los valores de la serie presenta la misma forma a izquierda y derecha de un valor central (media aritmética), es decir, devuelve la asimetría de una distribución. El coeficiente de asimetría es muy variado en los parámetros. El mayor valor lo presenta la conductividad de 3.90, seguida con la temperatura de 1.22 y el oxígeno disuelto de 0.46, solo el pH presenta un valor negativo de -0.41. En este caso la asimetría positiva indica una distribución unilateral que se extiende hacia valores más positivos. Mientras que la asimetría negativa indica una distribución unilateral que se extiende hacia valores más negativos (Orellana, 2001)

El nivel de confianza es la probabilidad de que el parámetro a estimar se encuentre en el intervalo de confianza (intervalo aleatorio que se usa para acotar un valor con una determinada probabilidad alta). Los niveles de confianza más usuales son: 90%; 95% y 99% (Orellana, 2001). Los niveles de confianza para nuestros datos son menores de 1.0, el mayor valor lo posee la conductividad (0.80) seguida del oxígeno disuelto (0.52), del pH (0.33) y finalmente la temperatura (0.29). Al igual que en los parámetros anteriores sería bueno indicar como se interpretan estos valores de niveles de confianza que indican.

Estos parámetros físico-químicos se comparan con los establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable (NSO 13.07.01.97 y NSO 13.07.01.04) y en la modificación hecha por el SNET (2010) en la normativa de agua cruda para potabilizar emitida en el Decreto No. 51 del Diario Oficial del país.

Tabla 4. Valores establecidos para parámetros físico-químicos según la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable.

Parámetro	Unidades	Valor NSO	Promedio medido	% que cumplen la NSO	# de pozos que cumplen la NSO	# de pozos que no cumplen la NSO
Conductividad	mS/cm	0.5-1.6	0.89	60	13	9
Oxígeno disuelto	mg/L	4 - 6.5	2.2	5	1	21
pH	Unidades de pH	6.0 - 8.5	6.6	82	18	4
Temperatura	°C	No rechazable	28	100	22	0

Al comparar con los datos obtenidos en campo se observa que:

Para la conductividad eléctrica, el promedio (0.89 mS/cm) se encuentra dentro de los límites establecidos, el 60% de los valores cumplen el rango permitido y los pozos que no cumplen esta normativa están ubicados mucho más cerca del estero. En el caso del pH, el promedio

(6.6) se encuentra dentro de los límites establecidos, solo el 18% de valores están bajo el rango. Para el parámetro de temperatura, se puede decir que todos los registros cumplen con la especificación (no rechazables al gusto). Por último, el oxígeno disuelto el promedio (2.2 mg/L), es muy bajo, por debajo de los límites establecidos, un 95% de las muestras no

cumplen; solamente un pozo registra valores dentro de los límites.

Recarga potencial del acuífero.

Es el proceso a través del cual un acuífero recupera su nivel de agua normal, debido a la percolación del agua precipitada que llega a la zona saturada del acuífero, esta recarga es muy variable y es la que geológicamente ha originado la existencia de los acuíferos, para el estudio de recarga es necesario tener en cuenta ciertos criterios que influyen sobre la recarga acuífera: precipitación, evapotranspiración, geología, vegetación, uso de suelo, topografía y profundidad del acuífero (Jiménez, 2005). La recarga del acuífero es una de las salidas de humedad del suelo que se analiza por medio del balance hídrico, el cual involucra para su determinación, los componentes básicos del ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración e infiltración), además de los principales grados de humedad del suelo (capacidad de campo, y punto de marchitez) y de la profundidad de raíces de las plantas, considerada como la profundidad donde suceden los cambios de humedad (Duarte, 1998).

Los parámetros utilizados en el cálculo de la recarga potencial mediante la hoja electrónica de Schosinsky.

- **Conductividad hidráulica:** se tomó el promedio de las cuatro pruebas de infiltración realizadas 5360.17 mm/día.
- **Capacidad de campo:** Para un suelo de tipo arenoso se toma un valor de 6% - 12% (Grassi, 1976; citado en Schosinsky, 2006). Para el cálculo tomamos CC = 9%.
- **Punto de marchitez:** Para un suelo arenoso el valor de PMP oscila entre 2% - 6% (Grassi, 1976; citado en Schosinsky, 2006). Para el cálculo tomamos PMP = 4%.

- **Densidad aparente:** Para un suelo arenoso las densidades varían de 1.55 gr/cm³ - 1.80 gr/cm³ (Grassi, 1976; citado en Schosinsky, 2006). Para el cálculo asumimos **DS = 1.70 gr/cm³**.
- **Kp y Kv (coeficiente de infiltración por pendiente y por vegetación):** para las condiciones del terreno y el tipo de vegetación (pendientes planas y terrenos cultivados), se tomó **Kp = 0.20** y **Kv = 0.09**.

En la hoja electrónica "balance hídrico de suelos" (Schosinsky, 2000) se sustituyeron los parámetros hidrológicos antes descritos.

Se eligió la estación meteorológica más cercana a la Isla de Méndez que tuviese registrados los valores de **evapotranspiración potencial mensual** y de **precipitación mensual**. La estación que resultó contar con estos dos parámetros registrados y además se encontraba más cercana a la zona de estudio es la estación **U11**, con coordenadas Lambert X=551461 Y=245709. Esta estación cuenta con los parámetros de Evapotranspiración Potencial (**ETP**) y Precipitación (**P**) por mes registrados desde el año 1970 hasta el año 2001.

Lo que se tomó es un promedio de todos los años desde 1970 hasta 2001 para cada mes.

Los otros parámetros que se tomaron para sustituir en la hoja de Excel fueron la Profundidad de Raíces (**PR**) y Humedad de Suelo Inicial (**HSi**)

PR (mm) = **150.00**

HSi (mm) = **12.75**

Nº De mes con que inicia HSi; 1, 2, 3...12?: **10 (octubre)**

Lluvia retenida [0.01%]: **otros = 0.12**

Se toma la humedad inicial [mm] del suelo en el mes de octubre, ya que es igual a la humedad final de suelo del mes de septiembre, que es el mes con mayor precipitación (Tabla 5). Y en él se cumple, que la cantidad de agua que infiltra

es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y satisfacer la evapotranspiración de las

plantas. Condición necesaria para calcular la recarga potencial al acuífero (Schosinsky, 2006).

Tabla 5. Resultados de los parámetros estimados y calculados mensualmente para la zona de estudio (Elaboración propia).

CONCEPTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P (mm)	1.8	1.6	1.8	40.2	191.0	294.1	229.6	263.0	366.8	272.8	52.2	4.6	1719.6
Ret [mm]	1.8	1.6	1.7	5.0	22.9	35.3	27.5	31.5	44.0	32.7	6.2	4.6	215.2
Pi (mm)	0.0	0.0	0.0	35.2	168.1	258.8	202.0	231.4	322.8	240.1	45.9	0.0	1504.5
ESC (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ETP (mm)	152.6	154.5	188.8	193.0	180.2	165.5	183.6	173.5	148.2	145.6	140.1	142.6	1968.1
HSi (mm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	22.9	22.9	22.9	22.9	12.7	22.9	10.2	
C1	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	
C2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	
HD (mm)	0.0	0.0	0.0	35.2	168.1	271.5	214.8	244.1	335.5	242.6	58.6	0.0	
ETR (mm)	0.0	0.0	0.0	35.2	90.1	165.5	183.6	173.5	148.1	145.5	58.6	0.0	1000.4
HSf (mm)	10.2	10.2	10.2	10.2	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	10.2	10.2	
DCC (mm)	12.7	12.7	12.7	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.7	12.7	
Rp (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	65.2	93.3	18.4	57.9	174.6	84.3	0.0	0.0	493.9
NR (mm)	165.3	167.2	201.5	170.4	90.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.1	155.3	1044.2

El resultado de mayor interés en la Tabla 5 es la **recarga potencial Rp** que representa la altura de la columna de agua que se infiltra durante cada año, sabiendo el valor de la recarga potencial y el área superficial del acuífero podemos determinar el volumen de agua que llega hasta el acuífero anualmente.

La recarga potencial según los cálculos por medio de la hoja electrónica de Schosinsky es: **Rp = 493.85 mm/año**

El volumen de agua que se recarga cada año

directamente hacia el acuífero es de **413.15 litros/segundo**.

CONCLUSIONES

La diferencia máxima de niveles estáticos en la zona ronda los 0.7 m, disminuye a medida nos acercamos a la zona de la Bahía de Jiquilisco (Norte), y se incrementa cuando nos acercamos a la línea de costa (Sur). El mapa generado refleja que la superficie freática del acuífero, bajo la zona muestreada, se vuelve más

profunda conforme nos acercamos al límite terrestre-oceánico. Este resultado coincide con los modelos teóricos de la interfaz agua dulce - agua salada.

La investigación permite una presentación de parámetros físico-químicos (temperatura, pH y conductividad eléctrica) de forma espacial en la zona de interés por medio del gradiente de cada uno de estos, que producen una variabilidad en orientación sur-norte.

La calidad de agua en general (95 % de los pozos muestreados) muestra valores por debajo de la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable, por lo que es necesario la aplicación de métodos de potabilización de agua que proviene de los pozos.

Según los resultados de la hoja electrónica de Schosinsky, la recarga potencial al acuífero en el área de estudio (26.4km²) es de 493.85 mm/año, el caudal que infiltra según el valor de la Rp es de 413.15 litros/s. Además, se puede decir que el volumen promedio de agua que infiltra en este acuífero durante el año es de 1.303764 X 10¹⁰ litros.

REFERENCIAS

- ANDA-COSUDE, (2008) *Mapa Hidrogeológico de El Salvador* (B2_San_Salvador_hillshade_Sept 52008). San Salvador, El Salvador.
- Baxter S., (1984). *Léxico Estratigráfico de El Salvador*. CEL, San Salvador, El Salvador.
- Canavos, G., (1992): *Probabilidad y Estadística*. McGraw-Hill. México.
- Coello Granda, C., (2005) *Análisis de métodos de estimación de la conductividad hidráulica saturada en suelos degradados*. Tesis, Magister de Ciencias en Manejo y Conservación del Agua y del Suelo. Universidad de Cuenca.
- Deras Cortez, J.R., (2003) *Guía Técnica: Uso de Riegos*. CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal), La Libertad, El Salvador.
- Duarte, J.R., (1998) *Estudio hidrogeológico del acuífero de Galuchaba*. Tesis Ing. Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Centro Americana "José Simeón Cañas". El Salvador.
- Gabriels et al. *Métodos para determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada de los suelos*. Universidad de Gante, Bélgica. [En línea], disponible en: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/viewFile/980/909 [Accesado el día 16 de Abril de 2014].
- Jiménez, F., (2005) *Evapotranspiración*. CATIE (Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza CR), Turrialba, C.R.
- MARN-MOP-IBERINSA-EPYPSA, (2002) *Mapa Geológico de El Salvador*, San Salvador, El Salvador.
- Mendieta A., (2012) *Caracterización de un acuífero costero por métodos electromagnéticos*. Tesis de Licenciatura. San Salvador, Escuela de Física, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador.
- MSPAS, (1998) *Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable (NSO 13.07.01.97)*. San Salvador, El Salvador.
- MSPAS, (2006) *Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable (NSO 13.07.01.04)*. San Salvador, El Salvador.
- Orellana, L., (2001), *Estadística Descriptiva*. [En Línea]. Disponible en: http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/modulo%20descriptiva.pdf [Accesado el día 15 de Abril de 2014].
- PRISMA, (2001) *Estudio de la Intrusión de Aguas Salinas en la Zona Costera de la Bahía de Jiquilisco*. Edición de Nelson Cuéllar. San

Salvador, El Salvador.

Schosinsky, G., (2006) "Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos" en *Revista Geológica de América Central*. 34-30, pp. 13-30.

Schosinsky, G. y Losilla, M., (2000) "Modelo analítico para determinar la infiltración con base a la lluvia mensual" en *Revista Geológica de América Central*. 34-35, pp. 43-55.

SNET, (2010) *Informe de Calidad de Agua de los ríos de El Salvador*. Servicio Hidrológico Nacional / 2009. San Salvador, El Salvador.